

karte von Sebastian Münster, Basel 1532 (BAGROW, S. 118) oder die Weltkarte von Laurentius Frisius (Ptolemäus-Ausgabe Straßburg 1522) als Fälschungen ansehen, weil sie Asien nördlich von einem Meer begrenzt sein lassen, was zur damaligen Zeit noch nicht bekannt war. Ja, letztlich mußte auch die Weltkarte in der Ulmer Ptolemäus-Ausgabe von 1482 — und viele andere Karten mit ihr — gefälscht sein; denn sie zeigt südlich des Indischen Ozeans Land, während das antarktische Festland erst sehr viel später gefunden wurde.

Die kritische Untersuchung, der hier die von BERNATT vertretene These unterworfen wurde, hatte nur zum Ziel aufzuzeigen, daß eine solche Argumentation nicht möglich ist, weil sie auf falschen Voraussetzungen aufbaut und daher recht schnell logischen Schiffbruch erleidet. Das Rätsel der Vinlandkarte, insbesondere die Frage ihrer Echtheit, ist damit aber keineswegs gelöst. Dazu wird man andere Wege beschreiten müssen. In jedem Fall aber wird man nicht umhin kommen, die recht massive Evidenz (Paläographie, Wasserzeichen usw.) zu durchbrechen, die SKELTON für ihre Echtheit anführt.

Literatur:

- Bagrow, L. und Skelton, R. A.: Meister der Kartographie, Berlin, 1963, 579 S.
Bernatt, St.: Zweite Deutsche Nordpol-Expedition 1869/70 ein Beweis gegen die Echtheit der „Yale“-Vinlandkarte vom Jahre 1441, Polarforschung, VI. Jg. 38, 1968, S. 223—224.
Gad, F.: „Vinlandskortet“, (Dansk) Historisk Tidsskrift, 1966—67, S. 57—90.
Gleditsch, Kr.: Vinlandskortet, Norsk Geogr. Tidsskr., 21, 1967, S. 133—142.
Kejlbo, I. R.: Vinlandkortet og nordiske kilder, Nordisk tidsskrift for bok- og biblioteksvæsen, 53, 1966, S. 104—124.
Luca de Tena, T.: The Influence of Literature on Cartography and the Vinland Map, Geographical Journal, 132, 1966, S. 515—518.
Petermann, A.: Die Deutsche Nordpol-Expedition, 1868, Pet. Mitt., 1868, S. 207—228.
Skelton, R. A., Marston, Th. E., Painter, G. D.: The Vinland Map and the Tartar Relation, New Haven and London, 1965, 291 S.
Udden, R.: Zur Herkunft und Systematik der mittelalterlichen Weltkarten, Geographische Zeitschrift, 1931, S. 321—340.

Über die Absorption elastischer longitudinaler Wellen im Eis

Von Heinz Kohnen, Münster/Westf.¹⁾

Zusammenfassung: Während der 2. Internationalen Glaziologischen Grönlandexpedition 1967 wurden von der Gruppe Geophysik umfangreiche refraktionsseismische Messungen durchgeführt. Aus den Einsätzen der direkten P-Wellen wurden die Frequenzspektren berechnet und aus den Amplituden die Absorptionskoeffizienten bestimmt. In dem schmalen Frequenzband von 50 Hz bis 100 Hz ist nicht eindeutig festzustellen, ob die Abhängigkeit des Absorptionskoeffizienten von der Frequenz linear oder quadratisch ist. Der Vergleich mit Absorptionsuntersuchungen im kHz-Bereich läßt auf eine lineare Relation schließen.

Abstract: During the II. International Glaciological Greenland Expedition 1967 extensive refraction seismic work has been carried out. The first breaks of direct P-waves were used for the computation of the frequency spectra, and the amplitudes for the attenuation constants. Within the narrow frequency range between 50 c/s and 100 c/s there can be no certainty whether there is a first power or second power relation between the attenuation constant and the frequency. From the comparison with attenuation measurements in the frequency range of 10 kHz to 300 kHz a linear relation is supposed.

Neben der Amplitudenabnahme der direkten Wellen mit wachsender Schußpunktentfernung, die zu den charakteristischen Merkmalen der Refraktionsseismogramme

¹⁾ Dr. Heinz Kohnen, 44 Münster (Westf.), Institut für Geophysik der Universität, Steinfurter Straße 107

zählt, ist ebenfalls stets eine Abnahme der vorherrschenden Frequenzen zu beobachten. Diese Tatsache ist aus der Bebenseismik, wo sie in den Registrierungen von Nah- und Fernbeben ohne detaillierte Analyse sofort ins Auge springt, und aus den Untersuchungen der Steinbruchsprengungen hinreichend bekannt. Bei den relativ geringen Schußpunktsentfernungen der Eisseismik bedarf es schon genauerer Untersuchungen, um die Frequenzabnahme festzustellen und zu bestimmen.

Ursache der Periodenzunahme ist das nicht vollkommen elastische Verhalten der Festkörper bei Spannungsbeanspruchung. Das Hook'sche Gesetz ist nur bedingt gültig, und es tritt im Spannungs-Dehnungsprozeß stets ein irreversibler Anteil auf, der durch Umwandlung in Wärme und in Verbindung mit Wärmeleitung verloren geht.

Es ist verschiedentlich versucht worden, die Verschiebung des Frequenz- oder Periodenmaximums im Fourierspektrum mit wachsender Herdentfernung zum Absorptionsvermögen der geologischen Schichten in Abhängigkeit zu setzen mit dem Ziel, aus der Verschiebung direkt den Absorptionskoeffizienten zu bestimmen. Die Entwicklung der modernen elektronischen Großrechner hat den großen Arbeitsaufwand, der zur Durchführung der Frequenzanalysen bisher erforderlich war, erheblich reduziert.

Den folgenden Untersuchungen liegen seismische Registrierungen auf Film und Tonband zu Grunde, die während der 2. Internationalen Grönlandexpedition 1967 (EGIG II)²⁾ auf dem grönländischen Inlandeis mit einer seismischen Apparatur Modell T 111 der Firma Geospace gewonnen wurden. Für die Bearbeitung wurden Ersteinsätze der P-Wellen, die auf fünf Refraktionsprofilen bei Schußentfernungen von 500 m bis 10000 m registriert wurden, ausgewertet und einer Fourieranalyse unterworfen (Programm K. Wilke). Die fünf Refraktionsstationen Camp VI (69° 44' 4" N, 48° 06' 52" W), Carrefour (69° 49' 15" N, 47° 27' 05" W), Station Centrale (70° 54' 37" N, 40° 28' 19" W), Crête (71° 07' 16" N, 37° 19' 17" W) und Dépôt 420 (72° 13' 24" N, 32° 19' 22" W) liegen im Firngebiet des zentralen Inlandeises.

Die Seismogramme wurden mittels eines Nachfahrgerätes, das im Geophysikalischen Institut der Universität Münster entwickelt worden war, digitalisiert.

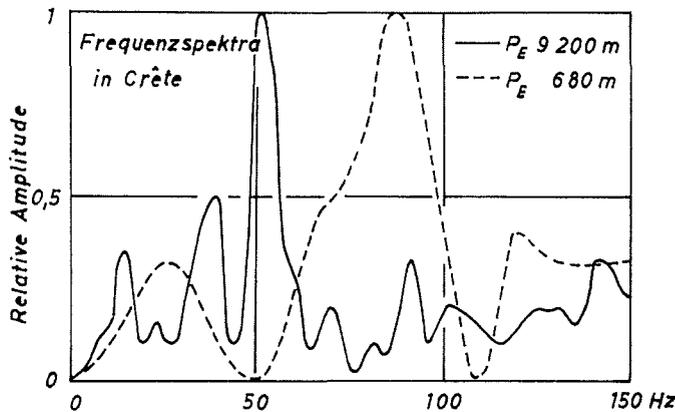


Abb. 1: Frequenzspektren der P-Wellen in Crête
Frequency spectra of P-waves at Crête station

2) EGIG: Expédition Glaciologique Internationale au Groenland. An der Expedition waren die Länder Dänemark, Deutschland, Frankreich, Oesterreich und die Schweiz beteiligt. Die wissenschaftliche Leitung lag bei einem internationalen Direktionskomitee; die technische Durchführung lag in den bewährten Händen P. E. Victors (chef de l'expédition).

Abb. 1 zeigt die Spektren der Erstsätze bei 680 m, resp. 9200 m Schußpunktentfernung in Crête mit den charakteristischen vorherrschenden Frequenzen bei 87 Hz, resp. 51 Hz. Die Nebenmaxima sind hauptsächlich durch Noise verursacht.

Das Spektrum einer seismischen Welle kann formal in drei Anteile zerlegt werden: 1. Schußspektrum, 2. Ausbreitungsbedingungen, 3. Aufnahmebedingungen.

Die Aufnahmebedingungen des Systems Geophon, Verstärker und Registrierteil sind in der Analyse berücksichtigt. Der Einfluß der Sprengung auf das Spektrum ist nicht genügend bekannt und nur schwer zu fassen. Die Untersuchungen von Poulter haben ergeben, daß das Spektrum u. a. von der Ladungsstärke, der Detonationsgeschwindigkeit und der Ladungsanordnung abhängig ist. J. Sharpe kommt nach seinen Untersuchungen über die Abhängigkeit der Frequenzen von der Beschaffenheit des umgebenden Materials und des gesprengten Hohlraumes zu dem Ergebnis, daß die Frequenz mit wachsender Rißigkeit steigt und mit der Größe des gesprengten Hohlraumes abnimmt.

Bei den seismischen Arbeiten auf dem grönländischen Inlandeis haben wir mit einheitlichem Sprengstoff gearbeitet. Die Ladungen waren durchweg in Bohrlöchern von 2 m Tiefe angebracht. Es ist zu erwarten, daß die Unterschiede in der Beschaffenheit des Firns in dieser Tiefe an den Refraktionstationen hinsichtlich ihres Einflusses auf die vorherrschenden Frequenzen vernachlässigbar sind. Der Einfluß der unterschiedlichen Ladungsmengen und -anordnungen auf die Frequenzspektren kann jedoch nicht erfaßt werden. So kann sicherlich die teilweise beträchtliche Streuung der vorherrschenden Frequenzen hierauf zurückgeführt werden.

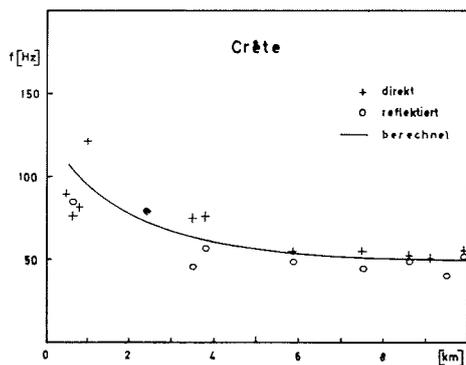


Abb. 2: Der Frequenzgang mit der Entfernung in Crête
Frequency versus distance at Crête station

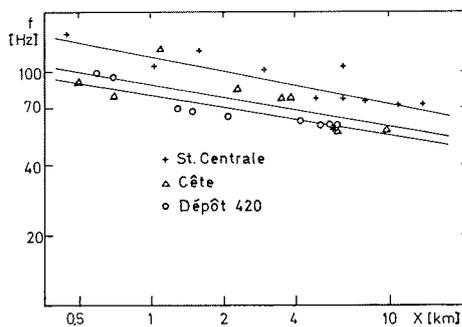


Abb. 3: Frequenzen gegen Entfernung in Station Centrale, Crête und Dépôt 420
Frequency versus distance at Station Centrale, Crête and Dépôt 420

In Abb. 2 ist der Gang der vorherrschenden Frequenzen mit der Entfernung bei der Station Crête dargestellt. Der Verlauf an den anderen Stationen ist ähnlich.

Trägt man die vorherrschenden Frequenzen in doppeltlogarithmischem Papier gegen die Schußpunktentfernung auf, so ergeben sich in guter Näherung Geraden (Abb. 3), und die Frequenzabnahme kann formal wie folgt beschrieben werden:

$$f = b \cdot x^{-n}$$

n beträgt für die fünf Stationen im Mittel 0,17, also ungefähr $1/6$. Die vorherrschenden Frequenzen nehmen von etwa 150 Hz (bei 500 m bis 1000 m Laufweg) mit wachsender Entfernung (bis 15 km) auf etwa 50 Hz ab. Die oberen Schichten des Inlandeises wirken

also wie alle realen Gesteine als Tiefpaßfilter, was eine scheinbare Dispersion zur Folge hat. Ein für die verschiedenen Stationen spezieller Frequenzgang mit der Entfernung, in dem sich vielleicht das unterschiedliche physikalische Verhalten des Eises hinsichtlich Temperatur oder Dichte widerspiegelt, ist nicht abzuleiten. Die Unterschiede im Frequenzgang müssen auf wechselnde Anregungsbedingungen zurückgeführt werden.

Die absorbierenden Eigenschaften der Materie werden in obiger formaler Zerlegung für das Amplitudenspektrum in den Ausbreitungsbedingungen erfaßt. Die Amplitude einer elastischen Welle in einem absorbierenden Medium kann allgemein wie folgt dargestellt werden:

$$A = \frac{A_0}{f(x)} e^{-ax}$$

Hier bedeutet A_0 eine Konstante, x der durchlaufene Weg; a ist der Absorptionskoeffizient und $f(x)$ ist die Divergenzfunktion. Es ist $f(x) = x^n$ mit $1 \leq n \leq 2$. Für die Energieabstrahlung einer Kugelwelle gilt:

$$E = \frac{E_0}{x^2} e^{-\beta x}$$

Energie und Amplitude sind durch die Beziehung $E = cA^2$ (c : Konstante) verknüpft. Beim Inlandeis können wir für die weiteren Betrachtungen in erster Näherung kugelförmige Wellenausbreitung annehmen und für die Divergenzfunktion $f(x) = x$ setzen. Der Absorptionskoeffizient der Energie β ist doppelt so groß wie a ($2a = \beta$).

Für die Beschreibung der physikalischen Prozesse, die die Absorption verursachen, sind verschiedene Modelle entwickelt worden. Diese Modelle können in zwei Gruppen unterschieden werden, je nachdem, ob lineare oder nichtlineare Dehnungs-Spannungs-Beziehungen gelten.

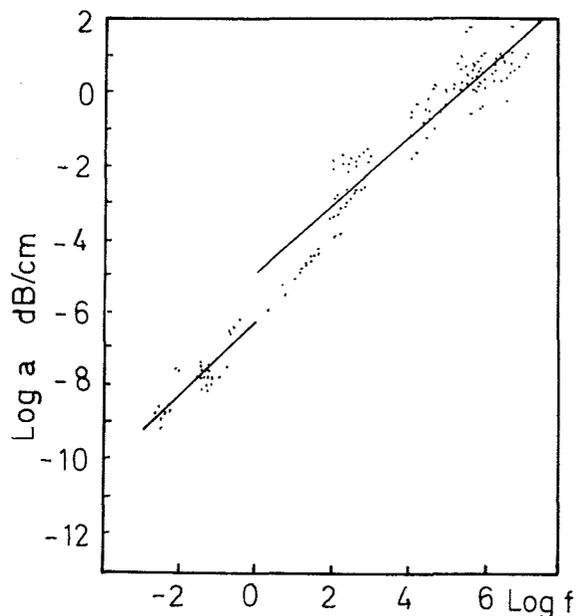


Abb. 4: Absorptionskoeffizienten nach Attewell und Ramana
Attenuation constant versus frequency; after Attewell and Ramana

Im Falle linearer Strain-Stress-Beziehungen ergibt sich beruhend auf der Theorie der viskosen Reibung, für den Maxwell-Körper $a \sim f^0$ (Frequenz) und den Voigt-Kelvin-Körper $a \sim f^2$.

Unter Zugrundelegung nichtlinearer Strain-Stress-Beziehungen folgt lineare Abhängigkeit der Frequenz vom Absorptionskoeffizienten (Loeb¹⁾, Förtsch¹⁾, Gemant und Jackson²⁾.

Attewell und Ramana (Abb. 4) haben alle ihnen zugänglichen Werte der Absorptionskoeffizienten zu ihren eigenen Messungen zusammengetragen und kommen zu dem Ergebnis, daß der Absorptionskoeffizient in einem weiten Frequenzbereich ($1 \leq f \leq 10^8$) in guter Näherung der Frequenz direkt proportional ist. Schon vorher hatten McDonald, White, Lee, Collins u. a. aus Laboruntersuchungen und in situ Messungen Linearität abgeleitet.

Nach der Formel für die Amplitudenabnahme wurden die Absorptionskoeffizienten für die Stationen Camp VI, Carrefour, St. Centrale, Crête und Jarl-Joset berechnet. Der unterschiedliche Einfluß der einzelnen Sprengungen wurde eliminiert, indem für die Berechnung eines a jeweils nur die Amplituden einer Registrierung benutzt wurden.

Der Verlauf der Frequenzen mit der Entfernung ist bekannt (s. o.), so daß die Absorptionskoeffizienten, berechnet für verschiedene Schußdistanzen, zu den Frequenzen in Beziehung gesetzt werden können. In Abb. 5 ist a gegen die Frequenz aufgetragen.

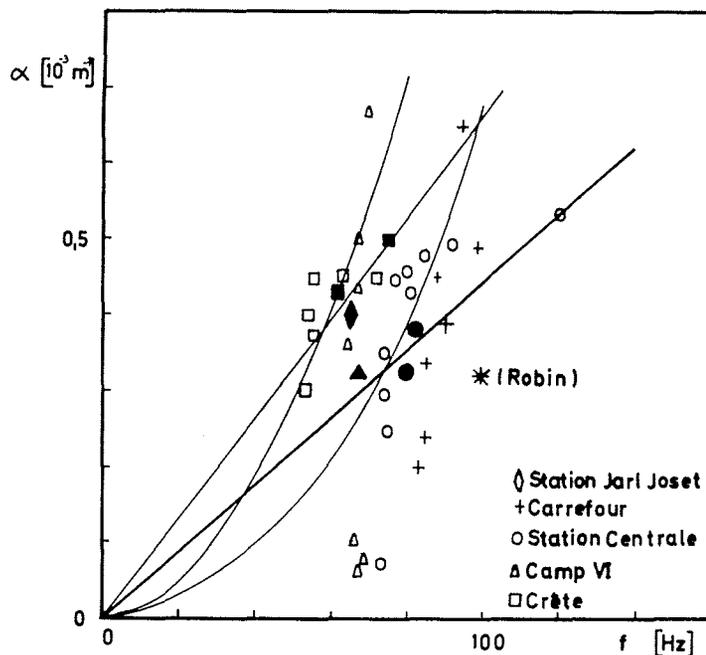


Abb. 5: Absorptionskoeffizienten in Abhängigkeit von der Frequenz
Attenuation constant versus frequency

Die Streuung der Einzelwerte ist so groß, daß nicht beurteilt werden kann, ob a linear oder quadratisch von der Frequenz abhängt. Bei einer Beziehung der Form $a = pf^2$

¹⁾ In J. E. White: Seismic Waves

²⁾ In H. Kolsky: Stress Waves in Solids

würde der Faktor p etwa zwischen den Werten $0,6 \cdot 10^{-7}$ und $1,1 \cdot 10^{-7}$ liegen. Im Falle von $a = q \cdot f$ ergibt sich für q : $0,45 \cdot 10^{-5} \leq q \leq 0,7 \cdot 10^{-5}$. Eine Mittelung über alle Werte an jeder Station (Abb. 5, ausgefüllte Symbole) führt zu keinem eindeutigeren Ergebnis. Die Streuung der Absorptionskoeffizienten ist in diesem schmalen Frequenzband ($50 \text{ Hz} \leq f \leq 100 \text{ Hz}$) zu groß, um hieraus allein eine Fallunterscheidung treffen zu können. Neben fehlerhafter Ausmessung der Amplituden ist sicherlich auch die unterschiedliche Ankoppelung der Geophone an der Schneeoberfläche Ursache dieser Streuung. In der Tabelle sind die Mittelwerte der Absorptionskoeffizienten und die zugehörigen Frequenzen aufgeführt.

Station	a (m^{-1})	f (Hz)
Camp VI	0,00032	67
Carrefour	0,00039	90
St. Centrale	0,00038	83
St. Centrale	0,00033	77
Crête	0,00045	62
Crête	0,0005	73
Jarl-Joset	0,0004	66

Der mittlere Absorptionskoeffizient der Energie, berechnet aus den Werten der Tabelle, beträgt für die oberen Schichten des Inlandeises $0,00076 \text{ m}^{-1}$. Robin hat in der Antarktis aus Reflexionsregistrierungen einen Wert von $0,00065 \text{ m}^{-1}$ ermittelt.

Nun hat M. P. Langleben (1969) die Absorption von P-Wellen in Meereis im Frequenzbereich von 10 kHz bis 500 kHz in situ untersucht. Nach seinen Meßergebnissen ist die Abhängigkeit des Absorptionskoeffizienten von der Frequenz wie folgt zu beschreiben: $a = c_1 f + c_2 f^4$, wobei der zweite Term der Rayleigh-Streuung entspricht. Das lineare Glied dominiert; die Rayleigh-Streuung wird erst oberhalb von 300 kHz wirksam. c_1 wird zu $4,15 \cdot 10^{-2} \text{ db m}^{-1}$ angegeben. Die Anwendung der Formel von Langleben für den Absorptionskoeffizienten der Energie bei 70 Hz ergibt $0,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$, was, unter Voraussetzung linearer Abhängigkeit zwischen a und f , Übereinstimmung zu unseren Ergebnissen zeigt (s. o.). Umgekehrt folgt aus der Benutzung unserer Beziehung für lineare Relation im kHz-Bereich Übereinstimmung mit den Meßwerten von Langleben. Diese überraschend gute Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen legt den Schluß nahe, daß auch im seismischen Frequenzbereich der Absorptionskoeffizient linear mit der Frequenz geht. Dieser Schluß konnte wegen zu großer Streuung der Werte aus unseren Untersuchungen allein nicht gezogen werden. Es ergibt sich nun die Folgerung, daß die Dämpfung der elastischen Wellen erstaunlicherweise im Meer- und Inlandeis gleich ist, und daß ferner nicht viskose Reibung, sondern Reibung an den Korngrenzen die Ursache des Dämpfungsmechanismus ist. Letzteres bestätigt nicht die Annahme von U. Nakaya, der für die Beschreibung der Dämpfung das Modell von Maxwell zu Grunde legte.

Es sei an dieser Stelle den Kollegen der Gruppe Geophysik (H.-G. Allnoch, M. Daull, C. Marinier, Dr. F. Thyssen [verantwortlicher Wissenschaftler] und K. Wilke) für die gute Zusammenarbeit während der Expedition gedankt. Dieser Dank gilt auch der Deutschen Forschungsgemeinschaft, die unsere Teilnahme an der Expedition ermöglichte, den Expéditions Polaires Françaises unter der Leitung von P. E. Victor, die für die technische Realisierung verantwortlich waren, und den Dynamit Nobel Werken, die freundlicherweise den Sprengstoff zur Verfügung gestellt hatten.

Literatur:

- P. B. Attewell and Y. V. Ramana: Wave Attenuation and Internal Friction as Functions of Frequency in Rocks, Geophysics Vol. XXXI, No. 6, 1966
- W. Born: The Attenuation Constant of Earth Materials, Geophysics Vol. VI, 1941
- J. Cl. de Bremaecker, R. H. Godson, J. S. Watkins: Attenuation Measurements in the Field, Geophysics, Vol. XXXI, No. 3, 1966
- B. Brockamp und H. Kohnen: Ein Beitrag zu den seismischen Untersuchungen auf dem grönländischen Inlandeis, Polarforschung, Bd. V, Jg. 35, 1965.
- F. Collins and C. Lee: Seismic Wave Attenuation Characteristics From Pulse Experiments, Geophysics, Vol. XXI, No. 1, 1956.
- U. Hornemann: Mikroseismische Beobachtungen in Bensberg und Bestimmung von Absorptionskoeffizienten anhand der Registrierungen von kurzperiodischen Seismographen, Dissertation, Köln 1963.
- L. Howell, C. Kean, R. Thompson: Propagation of Elastic Waves in the Earth, Geophysics, Vol. V, No. 1, 1940.
- N. J. Jordan: Attenuation and Dispersion of Shear Waves in Plexiglas, Geophysics, Vol. XXXI, No. 3, 1966
- H. Kolsky: Stress Waves in Solids, Dover Publications, 1963.
- M. P. Langleben: Attenuation of Sound in Sea Ice, Journ. of Glaciology, Vol. 8. No. 54, 1969.
- F. J. McDonald, F. A. Angona, R. L. Mills, R. L. Sengbush, J. E. White: Attenuation of Shear and Compressional Waves in Pierre Shale, Geophysics, Vol. XXXI, 1966.
- U. Nakaya: Visco-Elastic Properties of Snow and Ice in the Greenland Ice Cap, Symposium of Chamonix, Publ. No. 47 de L'Association Internationale d'Hydrologie Scientifique.
- G. Olszak: Zur Anwendung der Frequenzanalyse in der seismischen Erkundung, Geologie und Geophysik, Folge 6, 1964.
- Th. C. Poulter: The Poulter Seismic Method of Geophysical Exploration, Geophysics, Vol. XV, No. 2, 1950.
- J. W. S. Rayleigh: The Theory of Sounds, Dover Publications 1945.
- N. Ricker: The Form and Nature of Seismic Waves and the Structure of Seismograms, Geophysics, Vol. V, 1940.
- N. Ricker: A Note on the Determination of the Viscosity of Shale from the Measurements of Wavelet Breadth, Ebenda.
- J. Sharpe: The Production of Elastic Waves by Explosion Pressures I/II, Geophysics, Vol. VII, No. 2/3, 1942.
- J. E. White: Seismic Waves, Mc Graw-Hill, New York 1965.

Öl aus den Teersanden am Athabasca im subarktischen Kanada

Von Vitalis Pantenburg, Hahnwald/Köln *

Sir Alexander Mackenzie staunte während seiner Reise im Sommer 1789 zu dem nach ihm benannten River über austretendes Öl am Ufer des Athabasca. Er ließ an diesen bituminösen Stellen lange Stangen einführen. Sie stießen nach 6,5 Metern auf nur geringen Widerstand. Peter Pond, ebenfalls Pelzhändler, beobachtete Indianer, die ihre Rindenkanus mit diesem „Erdpech“ dicht machten — damals offenbar die einzige Verwendungsmöglichkeit für die Athabasca-„Tar-Sands“. Sie liegen rund 400 Flugkilometer nördlich Edmonton, Albertas Provinzhauptstadt, und gelten als eines der größten Erdölvorkommen der Welt.

Die schwarzbraunen „Tar-Sands“ sind eine Art zäher Plastikmasse und riechen wie frischer Straßenteer. Die erdgeschichtlich dem Mesozoikum (30 Millionen Jahre) angehörenden Lager gehen bis 500 m untertags; ihre Flözstärke liegt zwischen 38 und 75 m, im Mittel um 55 m. Sie erstrecken sich beiderseits des Athabasca River nordwärts, beginnend etwa 50 km unterhalb Fort McMurray/Waterways, Endpunkt der Northern

*) Dipl.-Ing. Vitalis Pantenburg, 5038 Hahnwald/Köln, Hahnwaldweg 16